**جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست‌وشش، تابستان ۱۳۹۷**

صص ۷۳- ۵۳

**DOI: 10.22067/geo.v7i2.67365**

# بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: آبخوان دشت خوی)

**حسن حاجی حسینلو[1] - گروه زمین‌شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۰          تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳**

**چکیده**

بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب‌های زیرزمینی منجر به پایین رفتن سطح آن‌ها ازیک‌طرف و از طرف دیگر منجر به ایجاد فرونشست زمین در بعضی مناطق ایران شده است. به دلیل دسترسی آسان و سادگی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، میزان برداشت از این منابع افزایش قابل‌ملاحظه‌ای یافته و متأسفانه در سال‌های اخیر حتی در بعضی مناطق، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بیشتر از امکانات تغذیه‌ای بوده است. معیارهای اصلی برای پهنه‌بندی شامل بود و نبود شکاف‌ها، مقدار افت سطح آب، نوع رسوبات و عمق سطح آب می‌باشد. در اصل چهار پهنه‌بندی تشخیص و نقشه‌برداری شد که شامل پهنه‌های خیلی بالا، بالا، متوسط و کم است. نقشه‌های تهیه شده از این منطقه نشان می‌دهد که گسترش پهنه‌های فرونشست خیلی زیاد و زیاد در منطقه فیرورق وجود دارد. در نقشه‌های مشاهده شده به ترتیب ۱۰ درصد و ۲۹ درصد پهنه‌های خیلی بالا و پهنه‌های بالا وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده طی ۱۲ سال گذشته دشت فیرورق حدود ۵/۰۴ متر افت سطح آب داشته‌اند که به طور متوسط سالیانه افت سطح آب در دشت فیرورق حدود ۴۲ سانتی‌متر بوده است. این افت سطح آب باعث فرونشست زمین در این دشت شده است.

**کلیدواژه‌ها:** فرونشست، تراز آب، دشت، خوی، فیرورق.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۶۲۷۰۵۴

Email: hajihosseinlou@iaukhoy.ac.ir

**۱- مقدمه**

دشـــت خوی در موقعیـت جغرافیایی بین طول‌های ٤٤ درجه،٤٧ دقیقه، ۳۷ ثانیه الی ٤٤ درجه، ٥٥ دقیقه، ۰۸ ثانیه شـــرقی و عرض‌های ۳۸ درجه، ۳۵ دقیقه، ۱۰ ثانیه الی عرض‌های ۳۸ درجه، ۳۷ دقیقه، ٢٤ ثانیه شـــمالی واقع اســـت. دشـت مزبور در شـمال‌غرب ایران و در شـمال شـهرسـتان سلماس قرار دارد. این محدوده به‌عنوان یک زیر حوضه از حوضــه آبریز رودخانه ارس می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی نسبت به کشور ایران و استان آذربایجان غربی ارائه شـده است. خشکسالی و افت بی‌رویه سطح آب‌های زیرزمینی یکی از بلایا و معضلات مهم کشور ایران در چند سـال گذشته می‌باشد و ضمن متفاوت بودن با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله، خسارات زیادی به زندگی انسـان و اکوسـیستم‌های طبیعی وارد آورده است. عمده این تفاوت‌ها ناشی از تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره نسـبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شـروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن می‌باشد. حال آنکه با افزایش جمعیت، برداشـت بی رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و عدم مدیریت مناسـب، امروزه شـاهد آسـیب‌های فراوان ناشـی از آن هسـتیم. یکی از این آسیب‌ها، پدیده فرونشست زمین می‌باشد که ناشی از خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی در اغلب دشـت‌های ایران پدیدار شـده اسـت. در این مقاله با انجام مطالعات و تحقیقات گسـترده در سـطح کشـور به بررسـی جامع وضـعیت افت سـطح آب‌های زیرزمینی و مخاطره فرونشـسـت سطح زمین با در نظر گرفتن عوامل اسـاسـی اثرگذار و آسـیب‌های ناشـی از آن پرداخته شده است و در نهایت با شناسایی عمده پارامترهای مؤثر و نظر به روند بحرانی کاهش سـطح آب‌های زیرزمینی و برداشـت‌های بی رویه و همچنین آسـیب‌های ناشـی از نشـسـت سطح زمین، راهکارهای مدیریتی مناسب در جهت کنترل و مقابله با این بحران ارائه شده است. نتایج بدست آمده (برداشـت و افت بیش از اندازه سـطح آب زیرزمینی به خصوص در چند سال گذشته، وقوع پدیده فرونشست و پدیدار شـدن شـکاف در سـاختمان‌ها و زمین‌های کشـاورزی و غیره) نشـان دهندۀ آن است که در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشـت‌های بی رویه در شـهرسـتان خوی و فیرورق در آینده‌ای نزدیک با پی آمدهای زیسـت محیطی و مشـکلات اقتصـادی و اجتماعی مواجه خواهند شد. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشـت بی رویه آب زیرزمینی افت سـطح آب سـفره‌ها و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات است. افت سـطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشـار هیدروسـتاتیک سفره شده، و بخش جامد یا ساختمان سفره پایداری خود را از دسـت می‌دهد و باعث فشـرده شـدن ذرات و از بین رفتن فضـاهای مفید بین ذره‌ای بخصـوص در ذرات سیلت و ماسه می‌گردد.

در این تحقیق با انجام مطالعات و تحقیقات گسـترده در سـطح کشور به بررسی جامع وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطره فرونشـسـت سـطح زمین با در نظر گرفتن عوامل اساسی اثرگذار و آسیب‌های ناشی از آن پرداخته شـده اسـت. در نهایت با شـناسـایی عمده پارامترهای مؤثر و نظر به روند بحرانی کاهش سـطح آب‌های زیرزمینی و

برداشت‌های بی رویه و همچنین آسیب‌های ناشی از نشست سطح زمین، راهکارهای مدیریتی مناسب در جهت کنترل و مقابله با این بحران ارائه شده است. نتایج بدست آمده (برداشت و افت بیش از اندازه سطح آب زیرزمینی به خصوص در چند سال گذشته، وقوع پدیده فرونشست و پدیدار شدن شکاف در ساختمان‌ها و زمین‌های کشاورزی و غیره) نشان دهنده آن است که در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت‌های بی رویه در شهرستان خوی و فیرورق در آینده‌ای نزدیک با پیآمدهای زیست محیطی و مشکلات اقتصادی و اجتماعی مواجه خواهند شد. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی رویه آب زیرزمینی افت سطح آب سفره‌ها و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات است. افت سطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدروستاتیک سفره شده، و بخش جامد یا ساختمان سفره پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث فشرده شدن ذرات و از بین رفتن فضاهای مفید بین ذره‌ای بخصوص در ذرات سیلت و ماسه می‌گردد (شکل ۱).

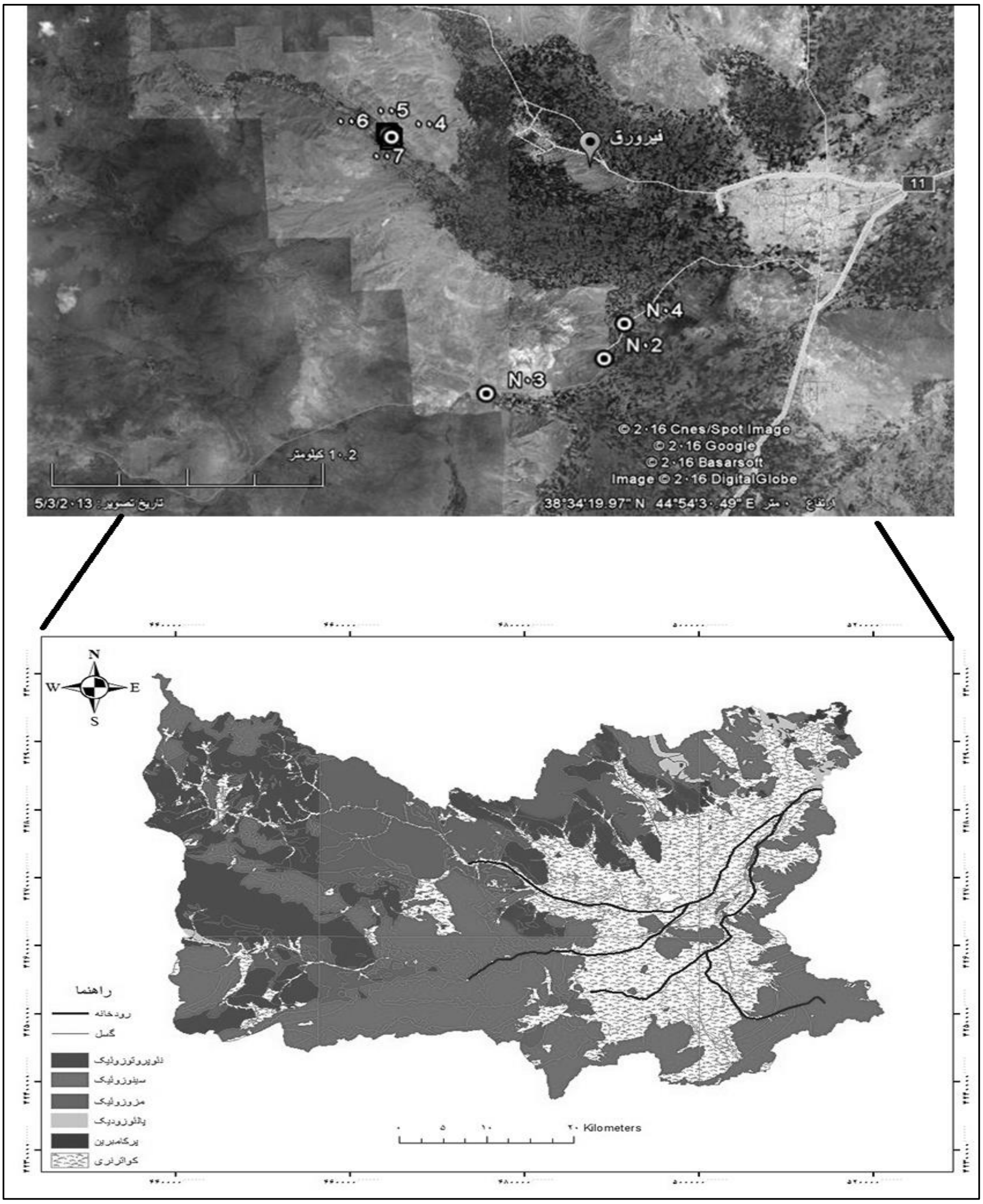
ناحیه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و با توجه به تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران (Stöcklin,1968) بخشی از پهنه آمیزه رنگین و البرز – آذربایجان محسوب می‌شود. در این محدوده سنگ‌های رسوبی، دگرگونی، آتشفشانی و نفوذی از پرکامبرین پسین تا عهد حاضر با راستای عمومی شمال غرب – جنوب شرق رخنمون دارند شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی دشت خوی را نشان می‌دهد.



**شکل ۱- شواهد میدانی فرونشست به صورت فروچاله و شکاف در منطقه مورد مطالعه**

در بررسی سازندهای زمین شناسی حوضه و جنس آن‌ها به منظور تعیین نقش آن‌ها در وضعیت آبدهی دشت که لازمه مدل‌سازی است واحد لیتولوژی که اطراف دشت را پوشانده‌اند، نشان دهندهٔ این است که در بخش غربی دشت عمدتاً واحدهای تشکیل دهنده، سنگ‌های دگرگونی هستند که با سن نامشخص و گاهی نیز به سن پرکامبرین نسبت

داده شـده و بخش شـرقی محدوده نیز عمدتاً از سـنگ‌های رسـوبی و آذرین تشـکیل شـده‌اند که توده‌های پلوتونیک گرانیتی عمدترین واحد آذرین منطقه را تشکیل می‌دهد.




**شکل ۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه**

واحدهای دگرگونی عمدتاً از متاولکانیک دگرگون شــده، ســنگ آهک‌های دگرگونی، آمفیبولیت، گنایس، کلریت، سـریسـیت شـیسـت، آلبیت، اپیدوتیت شـیسـت، کوارتزیت، مرمر و شـیست‌های متنوع می‌باشند. بخشی از واحدهای آذرین کـه به‌صـــورت توده‌های نفوذی اولترامافیک، مافیک، مثل گابرو، هارزبورژیت و دیاباز می‌باشـــند در کمپلکس افیولیتی‌که در محدوده وجوددارند قرار گرفته اســت و بخشـــی نیز به‌صـــورت توده‌های اســیدی گرانیتی و توده‌های خروجی مانند بازالت، گدازه‌های بازالتی و گاهی توف و گدازه‌های آندزیتی و داسـیتی دیده می‌شـوند. واحد رسـوبی در منطقه نیز عمدتاً شـامل آهک، شـیست، ماسه‌سنگ و کنگلومرا می‌باشند که در این میان آهک‌ها در اکثریت می‌باشند.

ســنگ‌های پرکامبرین شــامل گنایس شــیســت و ســازندهای کهر، باروت و زایگون رخنمون کمی داشــته و تأثیر چندانی در منابع آب زیرزمینی ندارند. سـازندهای میلا و لالون گسـترش کمی داشـته و از نظر کمی و کیفی چنان حائز اهمیت نیسـتند. رسـوبات تخریبی سـازند درود دارای نفوذپذیری متوسـط تا خوب بوده ولی به‌دلیل گسـتردگی کم و ضـخامت ناچیز اهمیت خود را در تشـکیل منابع آب از دسـت می‌دهد. سـازنده روته که از آهک و دولومیت تشـکیل شـده اسـت، به دلیل داشـتن درز و شکاف اندکی از نفوذپذیری خوبی برخوردار نیست. آهک‌های نازک لایهٔ تریاس با لایه‌هایی از شـیل و آهک‌های کرتاسـه فوقانی که در غرب دشـت ایواغلی رخنمون دارند، دارای نفوذپذیری متوسط و اندک و از نظر کیفی تأثیرچندانی بر آب‌های زیرزمینی ندارد. وجود ســنگ‌های آمیزه رنگین که در ســرتاســر دشــت خوی پراکنده اســت و در اغلب موارد آن را پوشــش می‌دهد، به غیر از بخش‌های آهکی آن ســایر اجزا غیرقابل نفوذ بوده و به علت گسـترش زیاد این سـنگ‌ها در غرب دشت خوی، کیفیت آب‌های زیرزمینی این مجموعه بسیار خوب گزارش شـده و گرانیت سـیه‌باز به دلیل غیرقابل نفوذ بودن، درمناطقی که آهک میوسـن آن را پوشـانده اسـت به منزله ســنگ کف آهک فوق عمل می‌کند. از ســازنده‌های مزوزوئیک فقط آهک میوســن مهم‌ترین واحد ســنگی ســخت نفوذپذیر در این منطقه بوده و محدوده نســبتاً وســیعی در شــمال غرب خوی، حدفاصــل کوهســتان‌های خوی–قره‌ضیاءالدین را پوشانده و بارزترین سنگ کف شور کننده آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد.

**۲- مواد و روش‌ها**

جهت انجام عملیات‌های مختلف بر روی داده‌هایی که مشــخصــه مکانی (فضــایی) آن‌ها، یک مشــخصــه اصــلی محسـوب می‌شـود، از ابزارهای تحت عنوان GIS بهره گرفته می‌شـود. به دلیل رابطه موجود بین مشخصه مکانی نقاط و سـطح زمین و خاک، این سـیسـتم‌ها با عناوینی چون LIS (سـیستم اطلاعات زمین) و SIS (سیستم اطلاعات خاک) نیز بیان می‌گردند که در این میان GIS در محافل علمی متداول‌ترین اسـت. در تحقیق حاضــر از روی ٤ شــیت نقشــه توپوگرافی و نقشــه زمین‌شــناســی محدوده زمین مرجع کردن با ســیســتم مختصــات UTM انجام شــد. در مرحله اول نقشـــه‌هـای توپوگرافی خوی (4967II)، ایواوغلی (5067III)، دیزج دیز (5066IV) و شـــکریازی (4966I) را پس از اسـکن وارد برنامه نموده (علت انتخاب چهار نقشه به خاطر قرارگیری موقعیت دشت خوی در بخش مرکزی محدوده

مورد مطالعه می‌باشـد چرا که موقعیت قرار گیری شهرستان خوی در نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی مربوطه در گوشه جنوب غربی نقشـه می‌باشـد). پس از انجام مراحل فوق الذکر، چهار نقشـه مذکور توپوگرافی و زمین‌شـناسـی در کنار هم قرار گرفتند. برای دقت بیشـتر به هنگام تصـحیح هندسـی مقادیر کم‌تر از ابعاد یک پیکسـل انتخاب شـد. به منظور حفظ مختصـات لایهٔ زمین مرجع شـده با فرمت GeoTIFF ذخیره گردید. پس از این کار، هر دو نقشـه به صورت لایهٔ جداگانه‌ای در قسـمت ArcMap بر روی هم قرار گرفتند. چون نمونه‌ها و نقاط برداشـت شده دارای سیستم مختصات بودند، هر کدام به صورت جداگانه بر روی نقشه پایه قرار گرفتند.

هدف اصـلی از تحقیق تهیه نقشـه‌های پهنه‌بندی افت سـطح آب‌های زیرزمینی دشت فیروق و بررسی فرونشست زمین در اثر آن می‌باشـد. پهنه‌بندی منطقه به دو روش صورت می‌گیرد روش کریجینگ و روش معکوس وزنی فاصله.

**درون یـابی به روش کریجینگ:** این تخمین‌گر زمین آماری به افتخار یکی از پیشـگامان علم زمین آماری به نام دی. جی.کریـک کـه یک مهندس معدن آفریقای جنوبی بود به نام کزیجینگ نام‌گذاری شـده اسـت. کریجینگ یک روش و تخمین‌گر محلی و تصـادفی برای برآورد مقادیر یک متغییر در نقاط نمونه برداری نشـده، با اسـتفاده از مقادیر آن متغییر در نقاط نمونه‌برداری شده است و در این تحقیق جهت تهیه پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی استفاده گردد.

**روش معکوس وزنی فاصـله:** روش درونیابی (IDW) روشی برای تعیین ارزش سلول‌های یک منطقه است که به وسیله متوسط ارزش‌های داده‌های معلوم مجاور انجام می‌شود. این مدل بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده‌ی مورد نظر با افزایش مساحت کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیکترین نقاط برداشت شده دارد. لذا برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله‌ی دورتر قرار دارند، داشته باشند.

بدین منظور بررسـی‌های مختلف و تعیین امکانات بالقوه منابع آب منطقه، برنامه‌هایی جهت توسـعه بهره‌برداری از آن‌ها تهیه می‌شـود. ولی قبل از اجرای این برنامه‌ها لازم اسـت اثرات و خطرات احتمالی که در آینده، در اثر این توسعه بهره‌برداری پیش می‌آید، بررسـی شـده تا خسـاراتی متوجه سرمایه‌گذاری‌ها نگردد، به عنوان مثال زمانی که افت سطح آب زیرزمینی منطقه، به کمک نقشـه‌های تهیه شـده برای آینده پیش‌بینی می‌گردد، می‌توان طرح تکمیل سـاختمان و لوله‌گذاری چاه‌ها را با توجه به آن تهیه و پمپ و موتور و سـایر تجهیزات مناسـب را انتخاب و عمق نصـب را برآورد کرد تا در آینده با افت سطح آب زیرزمینی احتیاج به تعویض چاه و یا تجهیزات آن نباشد.

## ۳- نتایج و بحث

با بررسـی رقوم سـطح آب چاه‌های مشـاهده‌ای و نقشه‌های تراز و مقایسه آن با نقشه‌های توپوگرافی، تبعیت نسبی سـطح آب ایسـتـابی از عوامـل مؤثر در تغـذیه و تخلیه آبخوان و همچنین بر پایه داده‌های به دسـت آمده از نتایج حفاری‌های اکتشـافی و ژئوفیزیکی، به طور کلی در دشـت خوی سـفره‌های آزاد و تحت فشـار وجود دارد. گسترش

سـفره‌های تحت فشـار و نیمه تحت فشـار به صـورت ناپیوسـته و موضـعی در بخش‌های غربی و مرکزی دشـت و سـفره‌های آزاد را همهٔ نقاط می‌توان بررسـی نمود. سفره‌های تحت فشار عموماً در حوضه آبریز رودخانه قطور چای و به دلیل تناوب رسـوب‌گذاری توسـط این رودخانه و نتیجتاً تشـکیل لایه‌های ریز دانه در مابین طبقات درشـت داه به ویژه در قاعده مخروط‌افکنه شـکل گرفته اسـت. این وضـعیت دلیل تغذیه نهشـته‌های دانه درشـت در بالادسـت و محبوس شـد آب زیرزمینی موجود در آن‌ها توسـط لایه‌ها و عدسـی‌های رسـی در پایین دست سبب ایجاد سفره‌های تحت فشـار می‌گردد. گسـترش لایه‌های ریزدانه به صـورت عدسـی در بخش‌های غربی ناحیه در نزدیکی و مجاورت سـطح زمین سـبب ایجاد مانداب‌ها و نقاط زهدار در این بخش شـده اسـت. این لایه‌ها مانعی در جهت نفوذ آب‌های سـطحی و آب‌هـای جریان یافته از نقاط بالادسـت به این نواحی بوده و به همین علت بخش‌هایی از غرب وجنوب غربی ناحیه بصـورت زهدار در آمده و به صورت چشمه‌های متعددی در سطح منطقه تظاهر می‌نماید. این جریان‌ها به همراه سـر ریز رودخانه الند مجموعاً زهکش قودوخ بوغان را تشـکیل می‌دهند. همچنین در حوضـه آبریز الند عامل تکتونیکی در فرآیند شـکل‌گیری آبخوان تحت فشـار نواحی پایین دسـت مخروط افکنه (قاعده) نقش اساسی داشته و علت آن جابه‌جایی طبقات و قرار گرفتن لایه‌های با نفوذ کم‌تر در مقابل لایه‌های با دانه‌بندی درشـت‌تر توسـط گسـل فیرورق می‌باشـد. در ارتباط با بخش‌های مرکزی به دلیل کاهش قطر ذرات، لایه‌های رسـی به صورت بین لایه‌ای مابین طبقات دیگر سـبب تشـکیل آبخوان‌های تحت فشـار موضـعی شـده‌اند. در ارتباط با گسترش سفره‌های فوق، نتایج به دسـت آمده گویای تداخل و ارتباط نسـبتاً پیوسته و انگشتی آن‌ها است. لذا با توجه به ویژگی‌هایی که اشاره شد امکان بررسـی جداگانه آن‌ها وجود نداشـته و بدین لحاظ مجموعه آبخوان دشـت خوی به صـورت یکپارچه قابل مطالعه اسـت. در ارتباط با ضـخامت آبخوان نتایج به دسـت آمده نشـان می‌دهد که در بخش‌های شمال‌غربی دشت ضخامت آبخوان بین ۲۰ تـا ۳۰ متر و در بخش جنوبی فیرورق بین ۲۰ تـا ٦۰ متر و در بخش‌هـای مرکزی بالغ بر ۲۰۰ متر و در بخش‌های شـمالی شهر خوی به ۱۰۰ متر (چاه اکتشافی بدل آباد) می‌رسد. به سمت نواحی خروجی و شرقی دشت با فاصله یافتن از محورهای رسوب‌گذاری از ضخامت آبخوان کاسته شده و به حدود ٤۰ متر کاهش می‌یابد.

### ۳-۱- بررسی چاه‌های مشاهده‌ای

چاه مشـاهده‌ای (چاه مشاهده‌ای در آبخوان آزاد و چاه پیزومتری در آبخوان تحت فشار) عبارت از چاهی است که در داخل یک آبخوان حفر می‌شـود تا تغییرات سطح آب زیر زمینی در فواصل زمانی معیین، قرائت گردد. با برسی این چـاه‌هـا می‌توان به دامنه تغییرات سـطح آب در آن منطقه و نتیجتاً در کل آبخوان پی برد، برای رسـیدن به این منظور می‌بایسـت آرایش این چاه‌ها در آبخوان مناسـب، حفر چاه‌های مشـاهده‌ای کامل و متناسب با سطح آب و آماربرداری مداوم و دقیق صـورت پذیرد. سـابقه حفاری چاه‌های مشـاهده‌ای دشت خوی به سال‌های ابتدایی دهه ٦۰ می‌رسد که اولین مطالعه آب زیرزمینی در چارچوب مطالعات امکان‌یابی رودخانه‌های مرزی ایران و ترکیه صـورت پذیرفته اسـت.

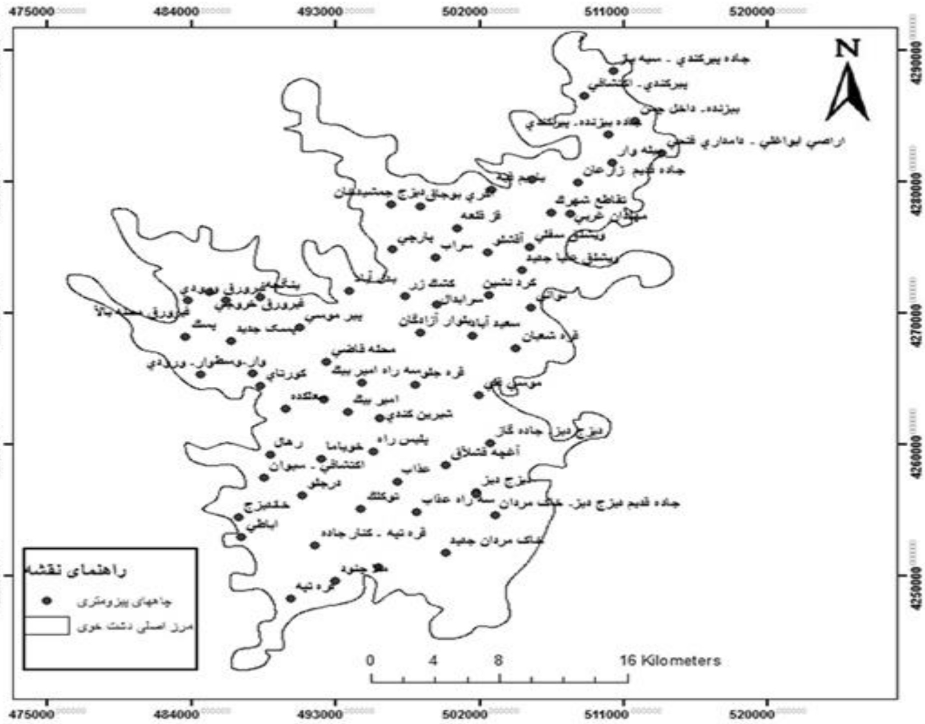
پس از آن و در سال ۱۳۸۰ به علت وقوع خشکسالی فراگیر و افت بیش از حد سطح آب، اکثر چاه‌های مشاهده‌ای خشک گردید، که واحد مطالعات شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی اقدام به طراحی و حفر مجدد چاه‌های مشاهده‌ای در این محدوده نموده است. نقشه موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای بعد از سال ۱۳۸۰ در شکل ۳ ارائه و نمایش داده شده است.

### ۳-۲- عمق آب زیرزمینی

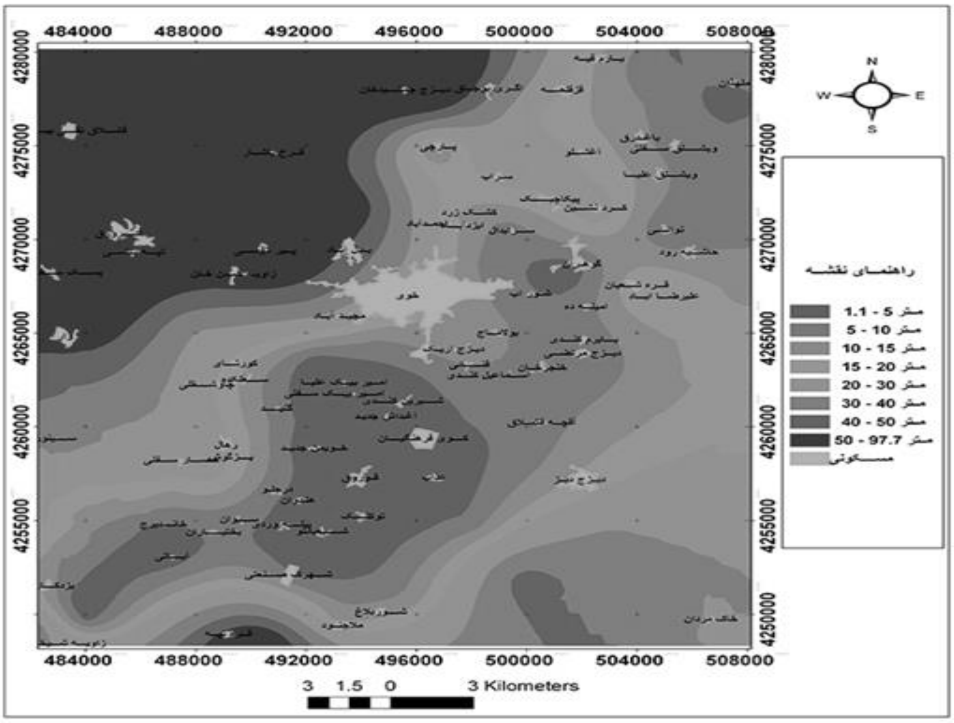
با استفاده از اندازه‌گیری عمق آب زیرزمینی در ۶۵ حلقه از چاه‌های مشاهده‌ای اقدام به تهیه نقشه هم عمق آب زیرزمینی گردید که در شکل (۴) عمق آب زیرزمینی ارائه شده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهد که حداکثر عمق برخورد به آب در شمال فیرورق دیده شده که دارای عمقی بیش از ۹۰ متر بوده، همچنین در حوالی روستای جمشیدخان عمق آب در حدود ۷۵ متر، در جنوب روستای قره‌تپه در حدود ۶۸ متر، در جنوب روستای دیزج‌دیز بیش از ۳۸ متر و در نهایت در قره‌شعبان بیش از ۱۷ متر است. کم‌ترین عمق برخورد به آب در حاشیه رودخانه‌های الند و قطور به ارقام کم‌تر از ۱ متر می‌رسد که به علت تبادل دائم جریان سطحی با آبخوان آبرفتی حاصل شده است. وجود دو نقطه با عمق زیاد در میانه دشت حوالی روستاهای قره‌جلو و کردنشین به علت وجود رسوبات ریزدانه (با غلبه سیلت در لوگ حفاری چاه‌ها نزدیک این محدوده) و برداشت از چاه‌های این محدوده می‌باشد.

### ۳-۳- نوسانات سالیانه سطح آبخوان

برای مشخص نمودن نوسانات سالیانه آب زیرزمینی و تغییرات سطح آب مخزن اقدام به ترسیم هیدروگراف جهت ۶۵ حلقه چاه مشاهدای در سطح دشت گردیده است و همچنین نقشه هم‌افت آب‌های زیرزمینی از سال ۱۳۸۲ لغایت ۱۳۹۲ تهیه گردید (شکل ۴). نوسانات سطح آب در دوره بیلان از یک منحنی سینوسی پیروی کرده و به شاخه‌های صعودی و نزولی تقسیم می‌گردد. از اردیبهشت تا شهریور ماه منحنی نزولی ادامه می‌یابد که به عنوان دوره خشک هیدروگراف قلمداد می‌گردد. لذا هیدروگراف دارای ۵ ماه مرطوب و ۷ ماه خشک می‌باشد. لازم به یادآوری است که این نظم هیدروگراف با تغییرات یک ماهه در سال‌های متفاوت تکرار شده که علت آن نیز وقوع سال‌های خشک و تر آبی می‌باشد. با توجه به نمودارهای فوق الذکر تراز آب زیرزمینی در مهرماه سال ۱۳۷۰ برابر ۱۱۲۷/۱۴ متر از سطح دریای آزاد و در شهریور ۱۳۹۲ به رقمی برابر ۳۰/ ۱۱۲۱ متر کاهش یافته است. بنابراین سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت فیرورق در طول دوره آماری فوق الذکر (۲۲ ساله) به میزان ۹/۲۴- متر افت داشته است. بنابرین متوسط افت سالانه در دشت فیرورق معادل ۰/۴۲- متر می‌باشد.




**شکل ۳- موقعیت چاه‌های پیزومتری محدوده مورد مطالعه**




**شکل ٤- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه**

جریان اصلی تغذیه کننده دشت از مسیل‌های شمال‌غرب، شمال شرق و ارتفاعات جنوب غرب وارد می‌گردد. با بررسی نقشه هم تراز سطوح آب (شکل ٥) مشخص می‌شود جهت جریان زیرزمینی تقریباً از جریانهای سطحی و شیب توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند و از جهت غرب، جنوب غربی و شمالی به سمت شمال شرقی دشت می‌باشد. و در بسیاری از نواحی ورودی آبراهه‌ها، جریان‌های آب زیرزمینی به آبخوان وارد می‌گردد (شکل ٦). جهت جریان آب زیرزمینی نیز کم و بیش از این وضعیت تبعیت می‌نماید، تغییرات گرادیان هیدرولیک در نواحی مرزی شدید است، خصوصاً در ورودی رودخانه الند به محدوده دشت که این شیب به ٢٤ متر در هر هزار متر بالغ می‌گردد، در ورودی رودخانه قطور شیب آب زیرزمینی پایین بوده و به ٤ متر در هر هزار متر می‌رسد. در مناطق مرکزی دشت (حوالی شهر خوی) گرادیان هیدرولیکی در حدود ٦ متر در هر هزار متر تغییر می‌کند که حاکی از سرعت و اختلاف پتانسیل پایین آب زیرزمینی می‌باشد.

**٣-٤- محاسبه بیلان**

شکل ٧ هیدروگراف ترسیم شده در دوره زمانی در طی یک دوره آماری تقریباً ١٢ ساله و تغییرات سطح آب در محدوده آبخوان نشان می‌دهد که بجز تعداد محدودی چاه که دارای خیزی کم‌تر از ١ متر می‌باشند در اکثر موارد چاه‌های مشاهده‌ای دچار افت شده‌اند. میزان افت در طی یک دوره آماری تقریباً ١٢ ساله برابر با ٥/٠٤ متر می‌باشد (به طور متوسط سالیانه ٤٢ سانتی‌متر). با منظور نمودن ٠/٤٢- متر افت متوسط سالانه و ٦٥٥ کیلومترمربع مساحت آبخوان و ضریب ذخیره ٥ درصد، مقدار متوسط تغییرات حجم مخزن برابر ١٣/٧٥٥- میلیون مترمکعب در سال برآورد گردیده است.

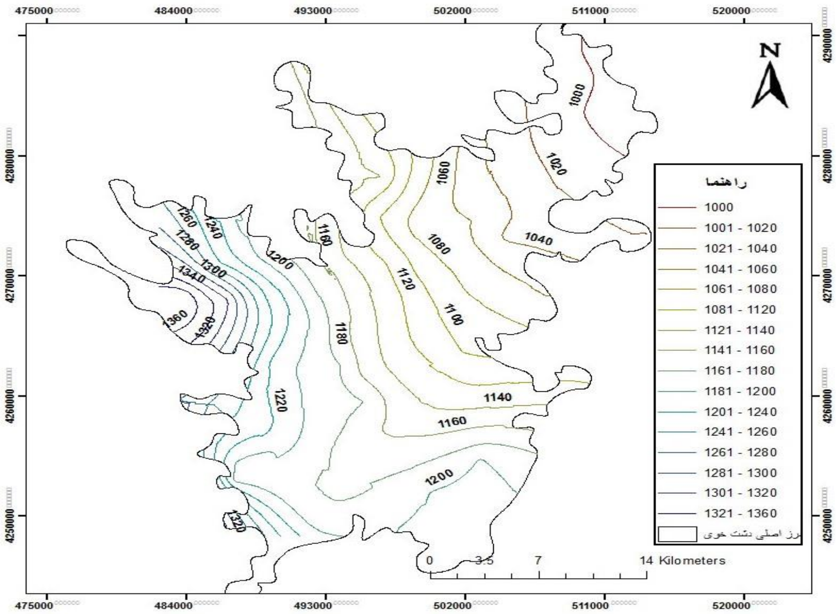
$$V=A\times H\times S$$

مقدار متوسط تغییرات حجم مخزن (میلیون مترمکعب ١٣/٧٥٥ – =٦٥٥ × (٠/٤٢ –)× ٥٪)

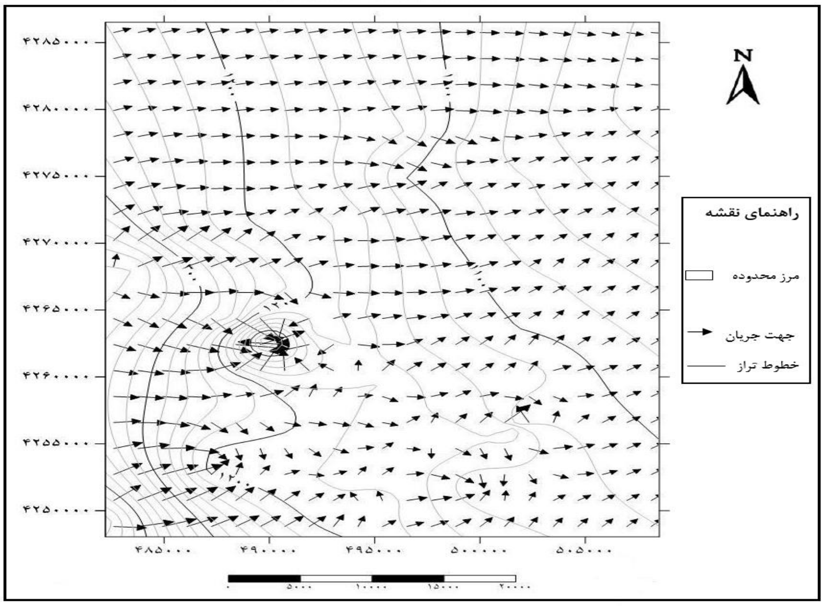
علاوه بر برداشت از منابع دینامیک آبخوان سالانه به طور چشم گیری از منابع ثابت آبخوان نیز برداشت می‌شود. مطالعه هیدروگراف واحد دشت نشان دهنده افت مداوم سطح آب زیرزمینی بوده که این روند نزولی در طی سال‌های ١٣٨٠ تا ١٣٧٤ شدیدتر شده است. خشکسالی‌های چند ساله اخیر بر میزان افت سطح آب نقش مهمی داشته است زیرا سبب روی آوردن کشاورزان به برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی دست شده است.

با افت آب زیرزمینی در دشت اغلب کشاورزان اقدام به حفر چاه‌های عمیق با عمق ١٥٠ متر در نیمه جنوب غربی آبخوان نموده‌اند. که روند افزایشی تعداد چاه‌های عمیق در جدول ١ مشهود است. با افزایش عمق چاه‌ها نیز برداشت از آبخوان شدت پیدا کرده است. این امر موجب افزایش شدت افت سطح آب در حاشیه دشت گردیده است. با روند افزایش برداشت‌های بی رویه عوارض و نشانه افت سطح زمین حدوداً از سال١٣٦٠به صورت از بین

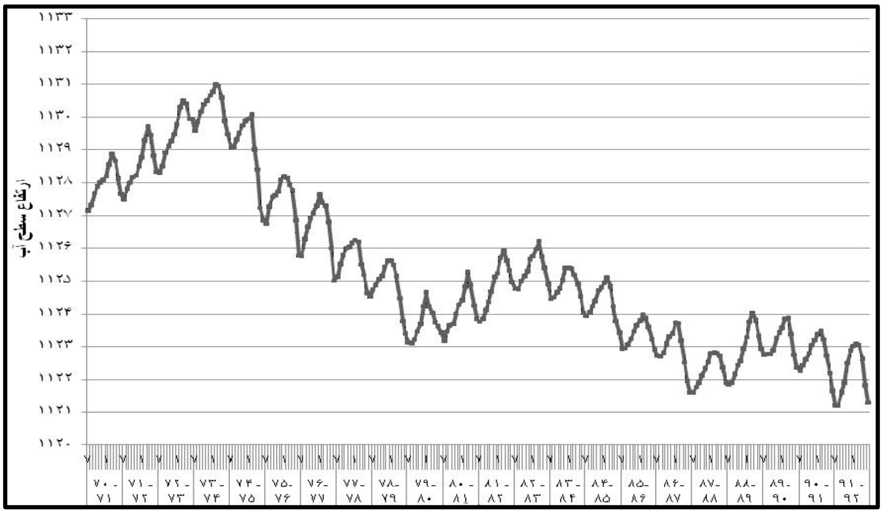
رفتن پوشـش گیاهی و خشـک شـدن چشـمه‌ها و ایجاد شـکاف در جنوب غربی دشت نمایان گردیده است. تنها در دوره چهارم آمار برداری و در محدوده مطالعاتی تعداد ۱۲۸ عدد سـردهنه انهار به عنوان تنها منبع آب سـطحی گزارش شـــده کـه در طول ســـال به طور متوســـط حجمی معادل با ۲۷۰ میلیون متر مکعب را جهت مصـــارف گوناگون از رودخانه‌های دارای جریان برداشت می‌نمایند.




**شکل ۵- نقشه خطوط هم‌تراز محدوده مورد مطالعه**




**شکل ٦- نقشه جهت جریان آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه**



**شکل ٧- هیدروگراف محدوده مورد مطالعه**

**جدول ١- میزان تخلیه منابع آب زیرزمینی دشت خوی و فیرورق مربوط به آمار سال‌های مختلف**

| ردیف | سال آماربرداری | چاه عمیق | | چاه نیمه عمیق | | قنات | | چشمه | | تخلیه کل (میلیون به مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تعداد | تخلیه | تعداد | تخلیه | تعداد | تخلیه | تعداد | تخلیه | |
| ١ | ١٣٦٠ | ٤٣٥ | ٢٠٢/٧ | ٧٠٦ | ٤٤/٤ | ١١٠ | ٣٤/٩ | ١٣٥ | ١٣٥/٦ | ٤١٧/٦ |
| ٢ | ١٣٦٨ | ٤٥٦ | ٣٠٥/٣٥ | ٨١٦ | ٤٧/٥ | ١١٠ | ١٨/٣٢ | ١٣٠ | ٩٦/٩٢ | ٤٦٨/٠٩ |
| ٣ | ١٣٧٢ | ٧٣٨ | ٣٠٣ | ٨٤١ | ٤٥ | ٥٦ | ٢٢ | ١١٠ | ٢٦ | ٣٩٦ |
| ٤ | ١٣٨٠ | ٨٠٩ | ٤٠٧/٧ | ٢٨٥ | ١٤/٨٨ | ١٤ | ٢/٦١ | ١٧ | ٣/٠٤ | ٤٢٨/٢٣ |

### ٣-٥- خصوصیات آبخوان آبرفتی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی خوی دارای سه دشت به نام‌های خوی، سیه باز و یزدکان (که فیرورق جزو دشت خوی به حساب می‌آید) می‌باشد که در مجموع دارای ٧٣ حلقه (دشت خوی با مساحت ٧٣٧ کیلومترمربع دارای ٦٥ حلقه، سیه باز با وسعت ١٦/٣١ کیلومترمربع دارای ٥ حلقه و یزدکان با ٦/٨٣ کیلومترمربع دارای ٣ حلقه) چاه پیزومتری می‌باشند عمق متوسط چاه‌های پیزومتری دشت خوی ٥٠/٢٢ متر و حداکثر عمق آن‌ها ١٢٠ متر مربوط به چاه پیزومتری فیرورق می‌باشد. بررسی لوگ زمین‌شناسی چاه‌های پیزومتر و اکتشافی منطقه نشان می‌دهد که رسوبات آبرفتی دشت بیشتر از ماسه، شن، گراول و لایه‌های نازک رس در بین نهشته‌های ناپیوسته تراوا می‌باشد (شکل ٨).

این رسوبات بیشتر متأثر از رسوبات دانه درشت قطورچای و الندچای بوده و جنس دانه‌ها اغلب آذرین است و به ندرت دانه‌های آهکی دیده می‌شود. در قسمت پائین دست رودخانه‌ها رسوبات ریزتر شده و به طور متناوب با دانه‌های درشت قرار گرفته‌اند. در جنوب شرق دشت خوی، سهم دانه‌های ریز مثل رس و ماسه (حاصل از تشکیلات تبخیری میوسن) بیش از انواع دیگر می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش پمپاژ چاه‌های اکتشافی، ضریب قابلیت انتقال سفره در جنوب غربی (ورودی دشت)، به علت ضخامت نسبتاً زیاد و دانه درشت بودن آبرفت حاصل از قطور چای بالا بوده و با استفاده از آزمایشات پمپاژ چاه‌های اکتشافی، مقدار ۲۸۰۰ مترمربع در روز برآورد شده است. از مناطق ورودی به سمت مرکز و خروجی دشت مقدار ضریب قابلیت انتقال، به علت ریز دانه شدن و کاهش ضخامت سفره پایین بوده و به طور متوسط ۲۰۰۰ متر مربع در روز برای مناطق مرکزی و ۱۲۰۰ متر مربع در روز برای بخش‌های خروجی برآورد شده است. میانگین ضخامت آبرفت در جنوب غرب دشت (مخروط افکنه قطورچای) در حدود ۱۵۰ متر است. ضخامت آبرفت در جنوب دشت خوی، متغییر بوده و از ۲۰۰ متر در ابتدای دشت به کمتر از ۵۰ متر در شمال دیزج دیز می‌رسد، ولی با توجه به اینکه بخش شنی و ماسه‌ای سازند دوره پلیوسن در زیر آبرفت‌های عهد حاضر در جنوب دشت قرار دارد لذا ضخامت مؤثر آبرفت بیش از ۱۰۰ متر نخواهد بود. در غرب دشت (منطقه فیرورق و مخروط افکنه الندچای) با توجه به عمق چاه‌های بهره برداری حفاری شده، بیش از ۱۰۰ متر می‌باشد. در اطراف شهر خوی ضخامت آبرفت حدود ۲۰۰ متر است که به سمت شمال شرق و غرب کاهش یافته بطوریکه در حوالی روستای مهلذان (خروجی دشت) ۱۲۰ متر تقلیل می‌یابد.

در سه منطقه از دشت خوی به شرح زیر سفره تحت فشار شناسایی شده است.

الف: قسمت‌های پایین دست مخروط افکنه قطورچای.

ب: در شرق مخروط افکنه الندچای.

ج: مرکز دشت (شرق و شمال شرقی شهرستان خوی).

آمار دراز مدت سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای در سطح دشت نشان می‌دهد که حداقل عمق سطح آب در اردیبهشت ماه و حداکثرآن در شهریور و مهرماه اتفاق می افتد. در حالت کلی عمق سطح آب زیرزمینی از حواشی جنوب و غرب دشت به سمت مرکز کاهش می‌یابد. در جدول (۱) تعداد و تخلیه منابع آب موجود دراین محدوده در دوره‌های مختلف آماربرداری تهیه گردیده است.

**۱- مناطق جنوب شرقی**

در این مناطق عمق چاه‌ها کم و به طور متوسط کم‌تر از ۱۵ متر می‌باشد علی‌رغم آن چاه‌های بهره‌برداری موجود عمدتاً از نوع عمیق و نیمه عمیق می‌باشد و عمق بالای ۷۰ متر دارند. پیش بینی سطح آب زیرزمینی در این مناطق نشان از وجود به احتمال قوی یک سفره تحت فشار دارد و این درحالی است که کلیه اطلاعات موجود مربوط به

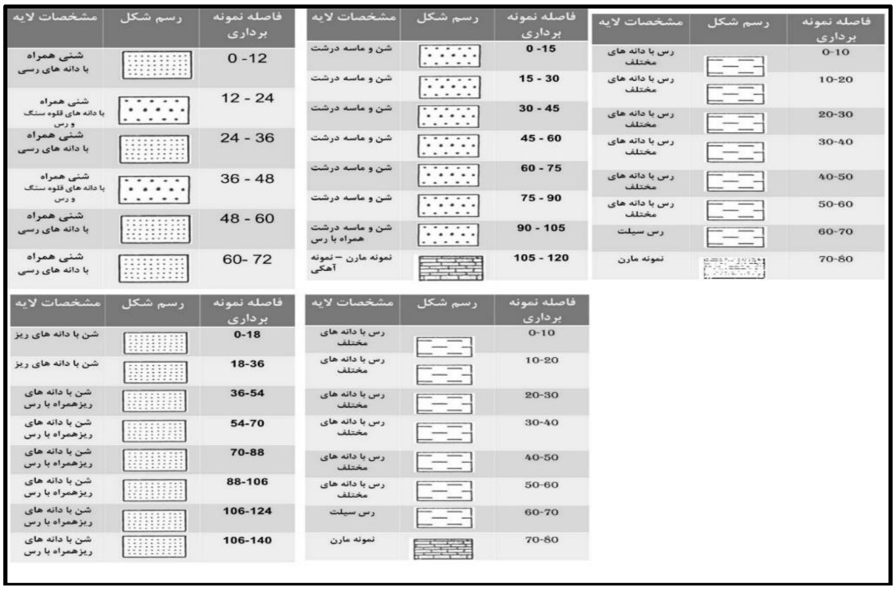
سـفره سـطحی آزاد در این منطقه اسـت و هیچ گونه چاه پیزومتری در این مناطق حفر نشـده اسـت و تنها در یکی از گزارش‌های موجود به وجود دو سفره در این منطقه اشاره شده است.

**۲- مناطق شمال‌شرقی**

نوسـانات سـطح آب زیرزمینی در منطقه شمال شرقی (مجاور روستای بیزنده) به عنوان خروجی دشت، بیشتر تابع حجم خروجی آب به دشـت مجاور (ایواوغلی) می‌باشـد. میزان این خروجی در دوره‌های تثبیت شـده اسـت و پیش بینی نوسـان سطح آب در یک‌سری از چاه‌های مشاهده‌ای در این منطقه روند کاهش نسبی سطح آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد.

**۳- مناطق شمال‌غربی**

پیش بینی وضـعیت آینده سفره در یک‌سری از چاه‌های مشاهده‌ای مناطق شمال‌غرب دشت، نشانگر کاهش نسبی سـطح آب زیرزمینی در این مناطق می‌باشـد. مناطق مزبور دارای نفوذپذیری بالا وضـخامت غیر اشـباع مناسـب برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصـنوعی اسـت. در این منطقه پروژه تغذیه مصـنوعی پسک که در مخروط افکنه آغچه‌قشلاق اجراء شده است، نقش قابل توجی در افزایش نسبی سطح آب زیرزمینی در ماه‌های پرآبی دارد.



| فاصله نمونه برداری | رسم شکل | مشخصات لایه |
|---|---|---|
| 0-10 | | رس با دانه های مختلف |
| 10-20 | | رس با دانه های مختلف |
| 20-30 | | رس با دانه های مختلف |
| 30-40 | | رس با دانه های مختلف |
| 40-50 | | رس با دانه های مختلف |
| 50-60 | | رس با دانه های مختلف |
| 60-70 | | رس سیلت |
| 70-80 | | نمونه مارن |

| فاصله نمونه برداری | رسم شکل | مشخصات لایه |
|---|---|---|
| 0 -15 | | شن و ماسه درشت |
| 15 - 30 | | شن و ماسه درشت |
| 30 - 45 | | شن و ماسه درشت |
| 45 - 60 | | شن و ماسه درشت |
| 60 - 75 | | شن و ماسه درشت |
| 75 - 90 | | شن و ماسه درشت |
| 90 - 105 | | شن و ماسه درشت همراه با رس |
| 105 - 120 | | نمونه مارن – نمونه آهکی |

| فاصله نمونه برداری | رسم شکل | مشخصات لایه |
|---|---|---|
| 0 -12 | | شنی همراه با دانه های رسی |
| 12 - 24 | | شنی همراه با دانه های قلوه سنگ و رس |
| 24 - 36 | | شنی همراه با دانه های رسی |
| 36 - 48 | | شنی همراه با دانه های قلوه سنگ و رس |
| 48 - 60 | | شنی همراه با دانه های رسی |
| 60- 72 | | شنی همراه با دانه های رسی |

| فاصله نمونه برداری | رسم شکل | مشخصات لایه |
|---|---|---|
| 0-10 | | رس با دانه های مختلف |
| 10-20 | | رس با دانه های مختلف |
| 20-30 | | رس با دانه های مختلف |
| 30-40 | | رس با دانه های مختلف |
| 40-50 | | رس با دانه های مختلف |
| 50-60 | | رس با دانه های مختلف |
| 60-70 | | رس سیلت |
| 70-80 | | نمونه مارن |

| فاصله نمونه برداری | رسم شکل | مشخصات لایه |
|---|---|---|
| 0-18 | | شن با دانه های ریز |
| 18-36 | | شن با دانه های ریز |
| 36-54 | | شن با دانه های ریزهمراه با رس |
| 54-70 | | شن با دانه های ریزهمراه با رس |
| 70-88 | | شن با دانه های ریزهمراه با رس |
| 88-106 | | شن با دانه های ریزهمراه با رس |
| 106-124 | | شن با دانه های ریزهمراه با رس |
| 106-140 | | شن با دانه های ریزهمراه با رس |

**شکل ۸- لوگ‌های زمین‌شناسی چاه‌های پیزومتر منطقهٔ فیرورق (فاصله نمونه‌برداری‌ها بر حسب متر می‌باشد).**

**٤- مناطق شرقی دشت**

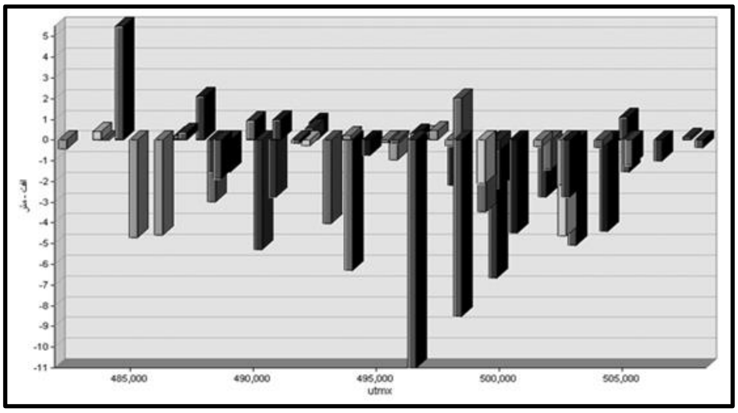
نوسـانات سـطح آب زیرزمین پیش بینی شـده در تعدادی از چاه‌های مشـاهده‌ای موجود در منطقه شـرقی دشت، روند افزایشـی یا کاهشـی قابل توجهی ارائه نمی‌دهد. سـطح آب زیرزمینی در این مناطق بیشـتر حالت پایدار و ثابت

داشــته و نوســانات قابل توجهی را نشــان نمی‌دهد. چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجود در این مناطق دارای عمقی در حدود ۸۰ الی ۹۰ متر می‌باشـد. و عمق چاه‌های مشـاهده‌ای در حدود کم‌تر از ۲۰ متر می‌باشد. در نواحی از این منطقه در ماه‌هایی سـطح آب زیرزمینی رسـیده وحالت باتلاقی قابل پیش‌بینی می‌باشد (حوالی روستای قوروق و جاده خوی- سلماس).

**۳-٦-پهنه‌بندی فرونشست منطقه مورد مطالعه**

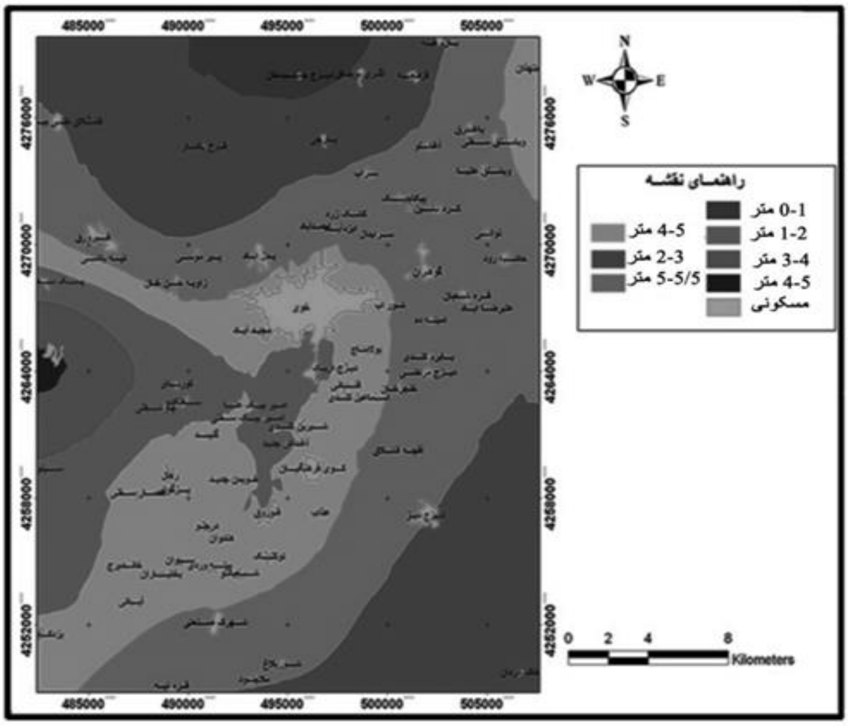
در این تحقیق منـاطقی که در آن‌ها فرونشـــســـت اتفاق می‌افتد از روی اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی با توجه به جنس مصـالح (مصـالح ریزدانه رسـی) و با توجه به نقشـه هم افت سـطح آب زیرزمینی (شکل ٤) و نمودار هم عمق سـطح افت آب‌های زیرزمینی (نمودار ۱) شـناسـایی و مشخص گردید که احتمال فرونشست در منطقه جنوب‌غربی و غرب محدوده مورد مطالعه با توجه به جنس مصـالح که دارای لایه‌هایی از جنس رس می‌باشـند، بیشـتر از سایر مناطق است (شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳، جداول ۲ و ۳).

نقشــه‌های ترسـیمی نشـان دادند که بیشترین میزان افت، در قسمت غرب و جنوب غرب منطقه اتفاق افتاده است. بر اسـاس نقشـه پهنه‌بندی تهیه شده، ۱۰ درصد از مساحت دشت در پهنه خیلی زیاد افت، ۲۹ درصد در پهنه زیاد، ۳۳ درصـد در پهنه متوسـط و ۲۸ درصـد در پهنه کم افت قرار می‌گیرد. با تلفیق لایه‌های میزان بارش، شیب، هیدرولوژی، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، خاک، پوشـــش گیاهی و عوامل انســـانی در محیط جی‌آی‌اس، نقشـــه پیش‌بینی مناطق افت آب‌های زیرزمینی در آینده به روش کریجینگ روش معکوس وزنی فاصـــله [1]تهیه گردید. نتایج به دســـت آمده نشـــان می‌دهد که بیشـترین احتمال فرونشـســت دشـت فیرورق در آینده به دلیل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در قسمت غرب و جنوب غرب اتفاق خواهد افتاد.

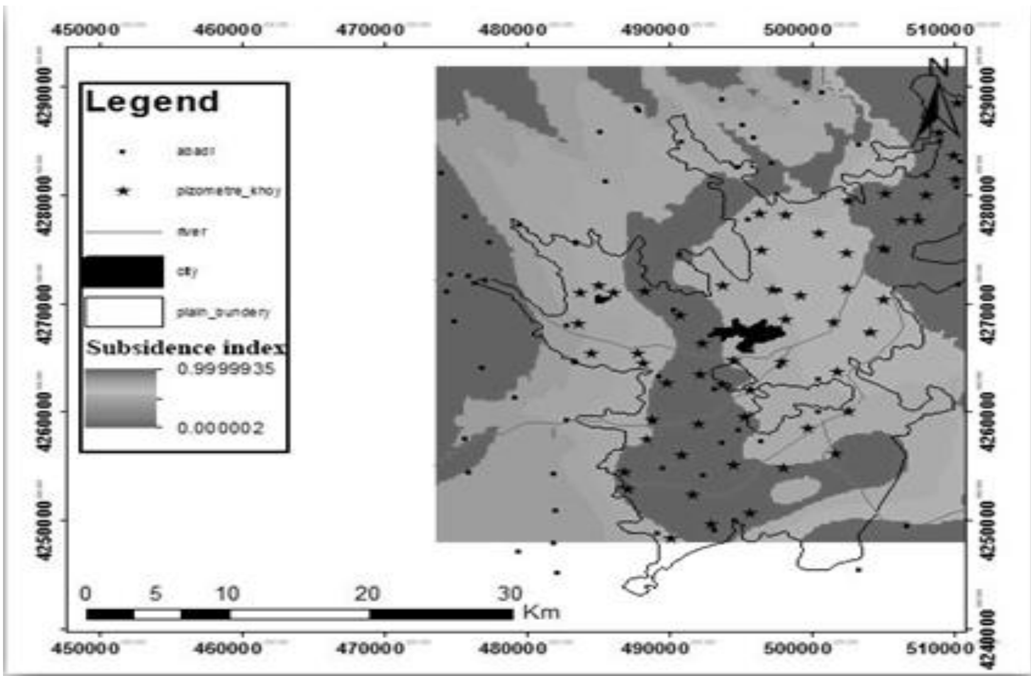



**شکل ۹ – نمودار هم عمق افت سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه**

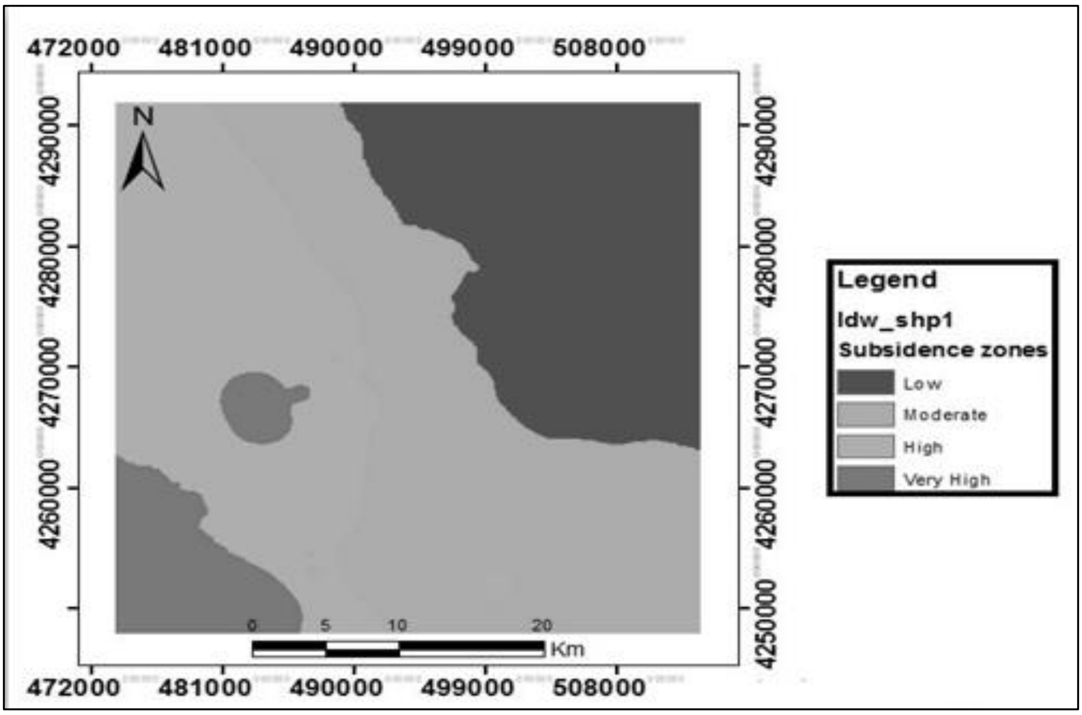
1 IDW




**شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی میزان فرونشست در منطقه مورد مطالعه به روش کریجینگ (KRIGING)**




**شکل ۱۱- بررسی شاخص فرونشست با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله(IDW)**




**شکل ١٢- بررسی شاخص فرونشست با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW)**

**جدول ٢ – مساحت و درصد پهنه‌های فرونشست منطقه فیرورق**

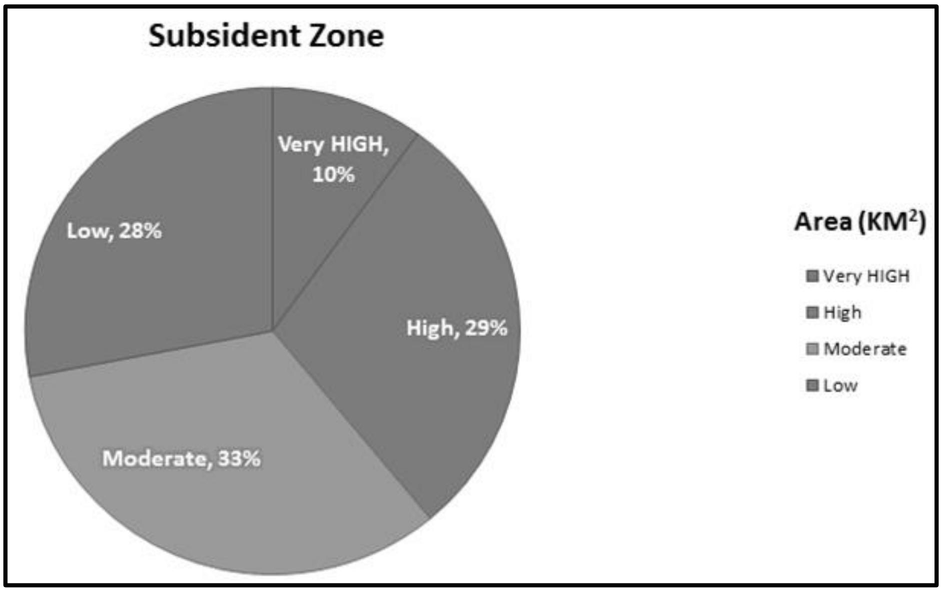
| ردیف | شاخص فرونشست | Q(مترمکعب بر سال) | کل حجم آب برداشت |
|---|---|---|---|
| ١ | ٠/٣٨٣٦ | ١٨٥٩٦٧٥ | ١٩١٧٥٢ |
| ٢ | ٠/٠٠٠١ | ٢٥٥٥٠ | ٢٤٥٠٩ |
| ٣ | ٠/٤٠٠٤ | ١٩٣٩٩٧٥ | ١٤٥٥٤٩ |
| ٤ | ٠/٠٠٧١ | ٥٩٣١٢/٥ | ٧١٢٦٧ |
| ٥ | ٠/٠٢٤٤ | ١٤٢٣٥٠ | ٢٢٩٤٢٣ |
| ٦ | ٠/١٧٢٠ | ٨٤٨٠٧٧/٥ | ١٢٣٥٩٠ |
| ٧ | ٠/٢٥٣٤ | ١٢٣٧٣٥٠ | ١٥٨٧٢٠ |
| ٨ | ٠/٠١٦٢ | ١٠٣١١٢٥ | ٧٢٨٨٠ |
| ٩ | ٠/٠١٤٩ | ٩٦٧٢٥ | ١٥٢٢٠٨ |
| ١٠ | ٠/٠١٩٨ | ١٢٠٤٥٠ | ١٨٢٢٦٤ |
| ١١ | ٠/٠٠٨٦ | ٦٦٦١٢/٥ | ٧٩٢٩٤ |
| ١٢ | ٠/٤٣٣٤ | ٢٢٩٧٦٧/٥ | ١٦٢٠١٢ |
| ١٣ | ٠/٣٨٢٨ | ١٨٥٦٠٢٥ | ١١٦٥٤٣ |
| ١٤ | ٠/٣٨٣٨ | ١٨٦٠٥٨٧/٥ | ١٧١٤٣٣ |
| ١٥ | ٠/٠٠٩٩ | ٧٣٠٠٠ | ١٢٥٦٠٨ |

**ادامه جدول ۲**

| ردیف | شاخص فرونشست | Q(مترمکعب بر سال) | کل حجم آب برداشت |
|---|---|---|---|
| ۱۶ | ۰/۵۳۹۷ | ۲۶۰۶۱۰۷/۵ | ۱۴۰۹۱۶ |
| ۱۷ | ۰/۰۰۷ | ۲۹۲۵۲/۵ | ۱۱۸۵۷۸ |
| ۱۸ | ۰/۰۱۸۷ | ۱۱۴۹۷۵ | ۱۸۳۴۵۹ |
| ۲۰ | ۰/۰۰۰۴ | ۴۴۸۰۳/۷۵ | ۷۸۹۶۵ |
| ۲۱ | ۰/۱۶۲۴ | ۸۰۲۰۸۷/۵ | ۱۳۰۰۷۱ |
| ۲۲ | ۰/۹۹۹۹ | ۴۸۰۷۰۵۰ | ۲۲۲۸۴۱ |

**جدول ۳- شاخص‌های فرونشست منطقه مورد مطالعه**

| S/N | Subsident Zone | Area(KM $^2$ ) | % |
|---|---|---|---|
| 1 | Very HIGH | 177 | 10 |
| 2 | High | 536 | 29 |
| 3 | Moderate | 600 | 33 |
| 4 | Low | 501 | 28 |
| Total | | 1814 | 100 |




**شکل ۱۳- درصد زون‌های فرونشست منطقه مورد مطالعه**

**٤- جمع‌بندی**

به طور کلی تحقیق حاضـر نشـان می‌دهد برداشـت بی رویه از سطح ذخایر زیرزمینی موجب فرونشینی بخشی از منطقه فیرورق شـده اسـت. سـاخت وسـازهای صورت گرفته بدون توجه به پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی شهر فیرورق از دلایل دیگر احتمال فرونشـسـت در فیرورق می‌باشـد. سـازندهای منطقه فیرورق مربوط به دوران سـوم زمین‌شـناسـی اسـت و منطقه از رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. رسوبات دانه ریز مانند سیلت و رس در مقایسه با رسـوبات دانه درشـت مانند شـن وماسه در این منطقه از مؤثرترین عوامل فرونشست زمین می‌باشد. از نظر اقلیم منطقه خشـک سرد است و متوسط بارندگی سالانه آن ۲۷۷/٤ میلی‌متر است تنها منبع آب سطحی دشت فیرورق را رودخانه الند تشـکیل می‌دهد. بنابراین با توجه به اقلیم منطقه، حفاظت از منابع آب زیرزمینی ضـرورت دارد، چرا که با بهره برداری بیش از حد از آبهای شـیرین زیرزمینی، آب شـور جایگزین آن خواهد شـد. این مسـئله در بخشـی از غرب فیرورق رخ داده اسـت. با توجه به آمار حداکثر عمق سـطح آب زیرزمینی در سـال ۱۳۸۳ در شـهر فیرورق معادل ۹۲ متر بوده اسـت، که بر اثر برداشـت غیرمجاز نسـبت به سال ۱۳۹۳ دچار ١٦ متر افت سطح شده است. برداشت بیش از حد مجاز را می‌توان نتیجه عدم وجود مدیریت درسـت منابع آب در بخش برداشـت و از سـوی دیگر به هدر رفتن حجم عظیمی از آب در نتیجه نادرسـت بودن شـیوه‌های کشـاورزی و مصـارف صـنعتی یا به طور خلاصـه مصـرف نامتناسـب دانست .در قسمت شمال غرب دشت فیرورق نشست‌هایی همراه با ترک و شکاف‌هایی مشاهده شده‌اند که عامل این پدیده بهره‌برداری بی رویه و افت شـدید سـطح آب زیرزمینی می‌باشـد. این پدیده باعث افت سطح زمین و ایجاد خسـارات متعددی در سـطح زمین شـده است. وجود این پدیده باید در هر گونه طراحی اعم از ساخت وسازها سـاده مثل یک جاده دسترسی محلی تا سازه‌های بزرگ و حتی در خصوص زمین‌های کشاورزی باید مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این برای جلوگیری از اسـتمرار این پدیده و برای جبران پتانسـیل‌های منفی منابع آب زیرزمینی، بایسـتی روش‌های آبیاری سـنتی اصـلاح و به جای آن از روش‌های مکانیزه و اصلاح شده بهره جست. علاوه بر آن برای حفظ پتانسـیل‌های موجود در آبخوان، تغذیه مصـنوعی دشـت به‌وسـیله سیلاب‌ها، و همچنین تصفیه فاضلاب‌های شهری و صـنعتی و سـپس رها نمودن آب‌ها به سیستم آب‌های زیرزمینی در دستور کار دست اندرکاران قرار گیرد و برای کنترل مداوم نشست زمین، ایستگاه‌های اندازه گیری جی پی اس[1] در محدوده دشت گسترش یابد.

**- راهکارهای مقابله با فرونشست**

به عنوان راهکار دراز مدت بر مبنای تجربه سـایر کشـورها چاره‌ای جز اصلاح روش‌های مدیریت منابع آب وجود ندارد و تا زمان باقی اسـت باید به سـوی آن حرکت کرد. اما تا آن هنگام و به عنوان راهکار فوری و اضـطراری دست کم می‌توان به جلوگیری از ادامه فعالیت اسـتفاده کنندگان غیر مجاز و چاه‌های حفر شـده به این طریق (که در بسـیاری

1 GPS

موارد تعداد آنها از چاه‌های مجاز بیشتر است) مبادرت ورزید. در غیر این‌صورت و با روند موجود ضمن از دست دادن بخش عظیمی از منابع آب برای همیشه، پدیده‌هایی نظیر فروچاله ها و فرونشست‌های ناحیه‌ای با ابعاد نامعلوم و با آسیب‌های جبران ناپذیر، باز هم بوقوع خواهد پیوست.

فرونشست‌ها و پیامدهای ناخوشایند آن، شوربختانه سرشتی بازگشت ناپذیر دارند و به سختی می‌توان آنها را کند و مهار نمود. شالوده هر پروژه ملی برای رویارویی با خطر فرونشست بر سه اصل پیش بینی، تشخیص و پایش استوار است که مدیریت درست منابع آب، نقش کلیدی در جلوگیری از رخداد این پدیده دارد. فرآیند پیش بینی و تشخیص بر پایه داده‌های حاصل از چاه پیمایی، آزمون‌های ژئوفیزیکی و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی برای پیش بینی و اندازه گیری میزان نشست خاک و تخلخل مفید و پتانسیل تراکم پذیری آن می‌باشد. از سوی دیگر همان‌گونه که بیان گردید پایش، مکان یابی و اندازه گیری میزان فرونشست می‌تواند با روش‌های نوین نقشه برداری و دورسنجی انجام پذیرد.

با بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی منطقه و مطالعات آزمایشگاهی در نهایت پهنه‌بندی زون‌های فرونشست نتایج حاصله از این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

۱- میزان افت سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی و جنوب غربی بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده، لذا فرونشست ناشی از افت سطح آب‌زیرزمینی در این مناطق زیاد است.

۲- استعداد روانگرایی قسمت‌های شرقی و شمال‌شرقی محدوده مورد مطالعه بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده ورعدد شاخص روانگرایی محاسبه شده برای آنها بین ۵-۰ می‌باشد.

۳- مطابق نقشه خطر پذیری تهیه شده، مناطق خطر پذیر بیشتر در قسمت‌های شمال‌غربی، جنوب‌شرقی و بخش‌هایی از جنوب‌غربی منطقه پژوهش قرار گرفته است.

٤- فعالیت و پتانسیل تورمی رس‌های قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده و با افزایش ژرفا فعالیت آن‌ها افزایش می‌یابد.

۵- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هیدروگراف واحد و تغییرات به وجود آمده در حجم ذخیره آبی آبخوان و شواهد آن نشان می‌دهد که تراز سطح آب زیرزمینی دشت فیرورق در طی دوره ۱۲ ساله به میزان ٥/٠٤ متر کاهش داشته است. نقشه پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی دشت بیانگر آن است که ۱۰ درصد از مساحت دشت در پهنه افت خیلی زیاد، ۲۹ درصد در پهنه افت زیاد، ۳۳ درصد در پهنه افت متوسط و ۲۸ درصد در پهنه افت کم قرار دارند و پهنه‌های متوسط تا خیلی زیاد بیش از ۷۲ درصد مساحت دشت را به خود اختصاص می‌دهد. این وضعیت بیانگر شرایط بحرانی به لحاظ افت آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند شرایط فرونشینی را تشدید نماید. برداشت بیش از اندازه آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های شمالی، غربی و جنوب غربی، تراکم و بارگذاری

فزاینده به خصـوص در سـال‌های اخیر به دلیل ساخت‌وساز در و وجود سازندهای آبرفتی کواترنری در بخش‌های وسـیعی از دشـت که با افت آب‌های زیرزمینی و خالی شدن فضای بین رسوبات همراه می‌باشد احتمال فرونشینی در این دشت را در آیند بیشتر خواهد کرد.

**کتابنامه**


خدابنده، علی‌اکبر؛ ۱۳۸۷. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سلماس مقیاس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور

خدابنده، علی‌اکبر؛ امینی فضل، عباس؛ ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی‌چهارگوش‌تسوج مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

رادفر، جواد؛ امینی، بابک؛ ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش خوی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷٦. نقشه توپوگرافی ایواوغلی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷٦. نقشه توپوگرافی خوی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷٦. نقشه توپوگرافی دیزج دیز مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷٦. نقشه توپوگرافی شکریازی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.

Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonic of Iran: A review, American Association of Petroleum Geologists bulletin American Association of Petroleum Geologists bulletin, 52, 1229-1258.